云 南 植 物 研 究 2003，25（1）：55 ~ 62
Acta Botanica Yunnanica

光叶珙桐的等位酶分析及其生物地理学意义*

彭玉兰，胡运乾，孙 航**
（中国科学院昆明植物研究所，云南 昆明 650204）

摘要：采用水平切片淀粉凝胶电泳实验方法，对光叶珙桐（*Davidia involucrata* var. *vilmoriniana*）4个居群、78个个体、11种酶系统，21个位点进行了等位酶分析。各居群的多态位点百分比 $P = 28.6\% \sim 47.6\%$，实际杂合度 $H_o = 0.177 \sim 0.308$，平均每个位点的等位基因数 $A = 1.3 \sim 1.6$。在变种水平上，多态位点百分比 $P = 52.4\%$，平均每个位点的等位基因数 $A = 1.8$，实际杂合度 $H_o = 0.272$，期望杂合度 $H_e = 0.216$。基因分化系数 $F_{ST} = 0.1928$，说明光叶珙桐居群间分化小。各项指标表明光叶珙桐的遗传多样性水平较高，比原变种珙桐高，外部环境可能是影响珙桐分布格局的重要因素。昭通与宝兴的遗传多样性明显高于其他两个居群，遗传多样性保存较为完整，而处于分布区东、西两侧边缘（云南西北部和湖北五峰）遗传多样性则相对较低，推测四川盆地边缘山地是该种的遗传多样化中心，可能是在地质灾难中（如第四纪冰期），光叶珙桐真正的避难所。分布区东西两侧的居群可能是从四川盆地边缘山地扩散而来。

关键词：珙桐属；等位酶；遗传多样性；生物地理
中图分类号：Q 943 **文献标识码：**A **文章编号：**0253 – 2700（2003）01 – 0055 – 08

Allozyme Analysis of *Davidia involucrata* var. *vilmoriniana* and Its Biogeography Significance

PENG Yu-Lan，HU Yun-Qian，SUN Hang
（*Kunming Institute of Botany*，*Chinese Academy of Sciences*，Kunming 650204，China）

Abstract： Allozyme analysis of *Davidia involucrata* var. *vilmoriniana* was carried out with 78 individuals in four populations by means of horizontal starch gel electrophoresis technique. Eleven enzyme systems and 21 loci were investigated. The results show that there is high genetic diversity in *Davidia involucrata* var. *vilmoriniana*. At population level，the percentages of loci polymorphic（P）are variable from 28.6% – 47.6%. Mean numbers of alleles per locus（A）are variable from 1.3 to 1.6. Observed mean percentage of loci heterozygous（H_o）is variable from 0.177 to 0.308. At var. species level，$P = 52.4\%$，$A = 1.8$，$H_o = 0.272$，$H_e = 0.216$，$F_{st} = 0.1928$，which means that the genetic difference among population is a little higher than *Davidia involucrata* var. *involucrata*. The genetic diversity of Zhaotong（NE

---

* **基金项目：中国科学院知识创新工程项目**（KSCX2-1-09，KSCX2-1-06B），**云南省自然科学基金项目**（99C0073M），**国家自然科学基金项目**（30270121，39770065，39930020）
** **通讯联系人**
收稿日期：2002 – 04 – 11，2002 – 09 – 04 **接受发表**
作者简介：彭玉兰（1976 – ）**女，四川人，硕士，研究方向：植物分类与植物地理，现工作单位成都生物所。**

Yunnan) and Baoxing (W Sichuan) are higher than that of the other two populations. This means that these places might be the really refuges during geological disaster (such as glacial age in Quaternary). The populations occurring in the eastern and western margins of the distribution area might be migrated from the refuges.

Key words: *Davidia*; Allozyme; Genetic diversity; Biogeography

光叶珙桐（*Davidia involucrata* var. *vilmoriniana*）是中国特有的单型科—珙桐科（Li，1954），仅有1属1种和1变种，即：珙桐 *Davidia involucrata* var. *involucrata* 和变种光叶珙桐 *Davidia involucrata* var. *vilmoriniana*。主要分布于云南、贵州、四川、湖北、湖南、陕西等地的亚热带山地，以四川盆地西北缘的邛崃山地卧龙保护区和西南缘的大小凉山以及川鄂湘黔交界的武陵山地，例如贵州梵净山比较集中，面积最大，数量最多（王献溥等，1995），这一地区应是珙桐的多度中心。

有关珙桐的研究，目前已有不少报道。Markgraf（1963）基于形态解剖特征，对其系统位置进行了讨论，认为与猕猴桃科有密切关系。Fairbothers & Johnson（1963）对珙桐属、蓝果树属（*Nyssa*）做了血清比较研究。Schurman & Villiger（1967）等对珙桐苞片的有色体结构成分进行了研究。Kamelna & Shevchnkol（1968）进行了胚胎学研究。Murrell & lack（1993）基于形态特征对珙桐、蓝果树、喜树的关系作了讨论。黄金生等（1996）发现了珙桐叶肉细胞核内含体。李汝娟等（1989）对光叶珙桐进行了细胞学研究。Rast（1968）在珙桐中发现了黄烷醇糖苷。Kieiman & Spencer（1982）的研究表明珙桐核果富含工业用油，向桂琼等（1989）发现珙桐含蒲公英萜酮等三萜化合物及鞣酸成分。张清浩（1981）进行了扦插育苗试验，杨业勤（1982）进行了种子育苗试验，张清华（1992）对珙桐的繁殖技术进行了讨论，胡一明（1986）、陶金川等（1986），王献溥等（1995）分别对珙桐的引种、生物学特性作了探讨。李建强等（2000）做了6个居群（珙桐）的等位酶分析，推测珙桐有自东向西扩散的倾向。可见，珙桐引起了广泛的重视，但主要集中在引种繁殖及系统学上的研究。

等位酶是最早用于居群生物学研究的分子手段（Konrnad，2001），可以探测居群的遗传结构，尤其是在繁殖系统和基因飘流等方面（Wu 等，2001），它能估计居群和种间基因变化和分布的水平，在保护生物学方面有着很大的应用前景（Loveless & Hamrick，1984；Hamrick，1989），在生物地理学中有巨大的潜力（王中仁，1996；Fritsch，1996；Randall，1992）。在很多植物的居群中，通常森林中的树种拥有相对高的遗传变异水平，但居群间有着较低的分异水平（Hamrick 等，1992）。珙桐的染色体数为 $2n=40$，光叶珙桐的染色体数 $2n=42$（李汝娟，1989），说明原种和变种的遗传结构在染色体数目，甚至染色体基数上存在差异，二者都为二倍体，李建强（2000）对神农架、巴东等6个珙桐居群有过等位酶分析，这为光叶珙桐的等位酶分析提供了较为清楚的遗传背景，但目前就我们对珙桐所拥有的知识而言，还没有一个完整的遗传结构的资料，李建强等（2000）在四川只取了1个样（主要对湖北的居群进行了研究），对其分布区西部尤其是四川盆地以西的居群遗传结构特别是变种光叶珙桐的遗传结构仍然是未知的。因此，本文对四川、云南和湖北的光叶珙桐进行研究，以了解这些区域中不同居群的光叶珙桐的遗传结构；并探讨其生物地理意义。

1　材料与方法

根据随机取样的原则，幼苗间相距至少在 20 m 以上，在云南维西、云南昭通、湖北五峰 3 个居群各取光叶珙桐幼苗 20 株。由于取材的限制，在四川宝兴居群取得 18 株，栽培于植物园。

取幼嫩植株叶片 0.5 cm^2，加提取缓冲液 3～5 滴，在比色盘中研磨，用纸芯子浸取酶液，立即上样电泳。提取缓冲液采用 Soltis 等（1983）Tris-HCl（pH 7.5），凝胶淀粉配方为：7%水解马铃薯淀粉（sigma s-4501），4%可溶淀粉，1%琼脂，3%蔗糖。采用水平切片淀粉凝胶电泳法，在 4℃冰箱中，用 300 V 左右稳压电泳 4.5 h。电泳缓冲液系统见表 1。染色方法、等位酶位点和等位基因的确定参照王中仁（1996）的方法。酶的缩写字母代表该酶系统，连字符后的数字代表不同位点，愈靠近正极的位点以愈小的数字表示。数据处理用 Biosys-2 软件处理。遗传多样性以常规的多态位点比率（P）、等位基因平均数（A），平均期望杂合度（H_e）和观察度来度量（H_o）。聚类分析采用不加权对儿平均聚类分析法（UPGMA）。用 Wright 的杂合性基因多样度比率 F_{ST} 以及遗传一致度（I）来衡量居群间的分化。Nei（1977）对 Wright 的 F－统计量进行了转换，即 Nei 的基因分化系数 $G_{ST} = F_{ST}$，具体计算方法参见王中仁（1996）的方法。

表 1　电泳检测所用酶系统、凝胶缓冲液系统和位点数目

Table 1　The enzyme systems and electrophoretic data

酶系统名称	缩写	酶代码	缓冲液系统	位点数目
酸性磷酸酶 Acid phosphatase	ACP	E.C.3.1.3.2	# 3	2
天冬氨酸转氨酶 Aspartate aminotransferase	AAT	E.C.2.6.1.1	# 1	2
磷酸葡萄糖异构酶 Phosphoglucoisomerase	PGI	E.C.5.3.1.9	# 2	2
苹果酸脱氢酶 Malate dehydrogenase	MDH	E.C.1.1.1.40	# 1	1
过氧化氢酶（触酶）Catalase	CAT	E.C.1.11.1.6	# 1	1
超歧氧化物酶 Superoxide dismutase	SOD	E.C.1.15.1.1	# 1	3
还原性辅酶 I 心肌黄酶 NADH-Diphorase	DIA	E.C.1.6.2.2	# 2	1
异柠檬酸脱氢酶 Isocitrate dehydrogenase	IDH	E.C.1.1.1.42	# 2	1
6-磷酸葡萄糖脱氢酶 6-Phosphogluconate dehydrogenase	PGD	E.C.1.11.1.44	# 1	1
过氧化物酶 Peroxidase	PER	E.C.1.11.1.7	# 3	2
酯酶 Esterase	EST	E.C.3.1.1-	# 1	3

注：# 1 Soltis *et al*（1983），# 2 为王中仁（1996），# 3 为 Soltis *et al*（1983）。

2　结果

对 AAT、AMP、EST、CAT、DIA、SKD、IDH、MDH、ME、SOD、ACP、PER、PGI、PGD 等 10 多种酶进行了电泳实验，其中 AMP、SKD、ME 效果不好，不用于分析。*Pgi*-1、*Pgi*-2、*Pgd*-1、*Mdh*-1、*Idh*-1 呈单态性，其余的酶位点表现为多态性。酶电泳谱带参见图 1。由表 2 可见，多态位点百分数 P 在 28.6～47.6 之间，都高于特有种的百分数，实际杂合度 $H_o = 0.177 - 0.308$ 高于预期杂合度 $H_e = 0.115 - 0.192$，基因的丰富程度较高。平均

表 2　所有居群中的遗传变异

Table 2　Genetic variability at 21 loci in all populations

居群 Population		N	A	P	H_o	H_e
1. WEIXI	维西	18.3	1.5	42.9	.308	.192
2. ZHAOTONG	昭通	15.7	1.6	47.6	.289	.194
3. BAOXING	宝兴	18.3	1.6	47.6	.308	.208
4. WUFENG	五峰	19.2	1.3	28.6	.177	.115
5. var. species	变种水平	71.5	1.8	52.4	.272	.216

注：N 平均每个位点的样本数，A 平均等位基因数，P 多态位点百分数，H_e 期望杂合度，H_o 实际杂合度

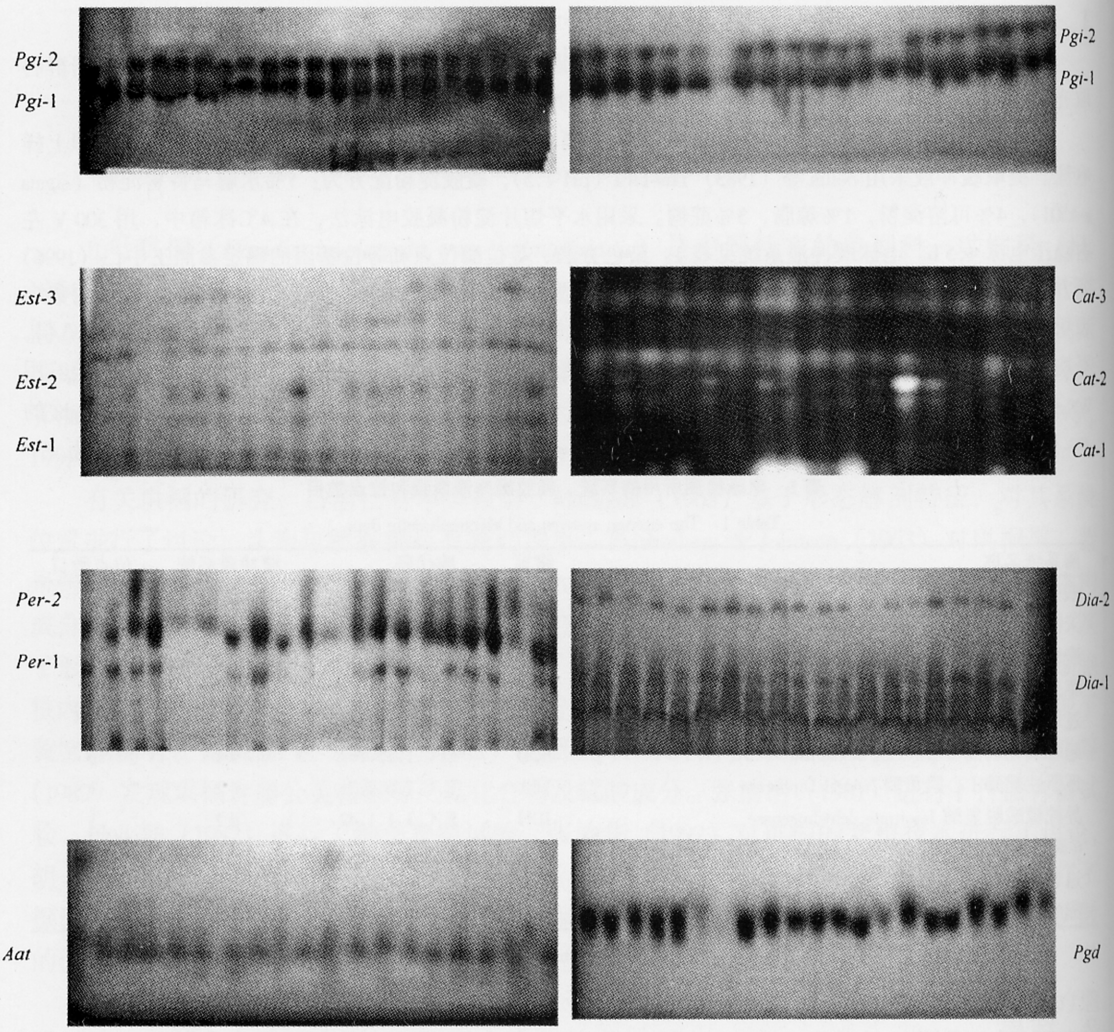

图 1　光叶珙桐的等位酶图谱

Fig. 1　Allozyme banding patterns of *Davidia involucrata* var. *vilmoriniana*

表 3　居群间的遗传一致度和遗传距离

Table 3　Genetic identities and distances among populations

Below diagonal: Nei (1978) unbiased genetic identity,

Above diagonal: Nei (1978) unbiased genetic distance

Population		1	2	3	4
1. WEIXI	维西	*****	0.058	.101	.037
2. ZHAOTONG	昭通	.943	*****	.013	.069
3. BAOXING	宝兴	.904	.987	*****	.089
4. WUFENG	五峰	.964	.933	.915	*****

等位基因数 $A = 1.3 - 1.6$。遗传一致度 I 表示居群间遗传结构的相似性程度，I 值越接近 1，两居群越相似。$I = 0.904 - 0.987$（表 3），与 Gottlieb & Higgins（1977）的种内遗传一致度相当。宝兴与昭通的遗传一致度 $I = 0.987$ 最高，其次为湖北五峰与云南维西 0.964，再为维西与昭通 0.943。云南维西与云南昭通的一致度小于云南维西与湖北五峰的一致度，说明居群间的相似性与地理位置的远近并不相关。F－统计结果：所有位点的平均值 $F_{IS} = -0.5680$，$F_{ST} = 0.1928$，$F_{IT} = -0.2657$，由于篇幅的限制，不再列表。

3　讨论

3.1　遗传多样性

昭通和宝兴的两个居群的多态位点高达 47.6%，平均为 41.7%（居群水平的平均值），最低的五峰多态位点百分数 28.6%，高于特有种的多态性，低于长寿木本植物的多态性（50%）和风媒异交的物种（49.7%）。实际杂合度（H_o）在 0.308 ~ 0.177 之间（表 2），杂合度高于期望值，高于珙桐的杂合度（H_p）0.1029（表 4）（李建强等，2000），杂合度 H_e 能同时反映居群中等位基因的丰富程度和均匀程度，Nei（1973）也把它称为基因多样度指数。杂合度指标表明光叶珙桐的等位基因丰富程度在各居群间存在较大的差异，所有居群预期杂合度 H_e 值远高于特有种的预期杂合度（0.063）（表 4 中的 H_p），这些指标表明光叶珙桐的遗传多样性在特有种中较高，且昭通和宝兴这两个居群的遗传多样性高于维西和湖北五峰。

表 4　不同类型植物的遗传变异和居群分化程度

Table 4　Genetic diversity and populations differentiation of different plants

	物种数	P_s	P_p	H_s	H_p	G_{ST}
分类地位						
长寿多年生木本	110 – 131	0.617	0.500	0.177	0.149	0.076
分布范围						
特有种	82 – 115	0.400	0.263	0.096	0.063	0.248
繁育系统						
混交（动物）	60 – 85	0.400	0.292	0.120	0.090	0.216
异交（动物）	124 – 172	0.501	0.359	0.167	0.124	0.216
异交（风媒）	102 – 134	0.661	0.497	0.162	0.148	0.099
种子散播						
重力	161 – 199	0.457	0.298	0.136	0.101	0.277
风传播	105 – 121	0.554	0.429	0.144	0.123	0.143
光叶珙桐	1	0.524	0.4168	0.216	0.177	0.1928
珙桐	1			0.1231	0.1029	0.1640

注：P_s，H_s 代表物种水平的多态位点百分数，P_p，H_p 的多态位点百分数代表居群水平，G_{ST}基因分化系数（ = F_{ST}），表中部分数据摘自 Hamrick 和 Godt（1990），珙桐的数据来自李建强等（2000）

珙桐为第三纪孑遗植物，遗传多样性低于多年生长寿木本植物和风媒异交植物，这与它的特有性和孑遗性有关，及分类地位上的孤立性有关（单种属）（葛颂，1994）。近年来有不少研究表明有些特有种有较高的遗传多样性水平。如木根麦冬（*Ophiopogon xylorrhizus*）、裂叶沙参（*Adenophora potaninii*）（祖元刚等，1999）等有较高的遗传变异。尤其是裂叶沙参（$A = 2.89$，$P = 0.833$，$H_e = 0.244$）远远高于多年生草本的遗传多样性水平，说明特有种也可能有较高的遗传多样性水平。影响珍稀植物的分布的因子不完全是遗传结构，可能与生境等有关系（Nevo 等，1988）。光叶珙桐的遗传多样性水平高于一般特有物种，看来威胁珙桐生存的主要因素不在于它自身的遗传结构，而应是生境等外在因素，在保护生物学上应考虑这一点。

繁育系统，种子散布方式是影响遗传分化的重要因素，珙桐为风媒传粉，种子散布主要依靠重力。常用 F_{IT}、F_{IS}分别表示个体相对于总居群和它所在的亚居群的固定指数，F 值在 -1 与 $+1$ 之间，杂合体过多就出现负值，纯合体过多，F 就会大于 0。$F_{IS} = -0.5680$，说明在居群内杂合体多，繁育系统为以异交为主。F_{ST}则表示亚居群间的分化程度，光叶珙桐的基因杂合性多样度比率 $F_{ST} = 0.1928$（ = 基因分化系数 G_{st}），高于原变种

珙桐 $G_{st}=0.1640$，低于特有种的基因分化系数 0.248（表 4）。基因分化系数小于依靠重力传播种子的植物 0.277，高于一般的风媒传粉植物 0.143。也就是说，只有 19.28% 的遗传变异发生在居群间，遗传变异主要发生在居群内。尤其是珙桐的风媒传粉方式，使得各居群间易于基因交流，居群间的遗传分化较小，也正是这种传粉方式使它们的繁育系统趋向异交，从而避免了近亲繁殖引起的遗传衰退，遗传多样性得以保持较高的水平。

3.2 生物地理意义

珙桐的滇东北—华中的分布呈马蹄形，分布较连续，滇西北明显被隔离开来，呈小块状分布（李建强等，2000），在滇西北，只有光叶珙桐的分布。从历史上看珙桐有着比现在更广的分布范围，在日本更新世及我国江西清江始新世均发现有珙桐的化石（Minoru & Tadashi，1997；应俊生等，1979）。最近在北美及东亚北部古新世地层中发现了同珙桐非常接近的类群 *Amersina*（Steven，1999），表明在地史上珙桐可能在北半球中高纬度地区起源。现在珙桐的分布区仅局限在华中到西南局部的亚热带山地，分布区较原来缩小了许多（图 2）；从等位酶分析上看，珙桐的遗传多样性较高，自身的遗传特性不是其种群消退和分布区缩小的原因，因此外部因素如地质变迁、气候的变化、特别是第四纪冰期，人为的干扰等等，可能是导致其分布区缩小的主要原因。

遗传相似性的聚类分析（图 3）表明尽管地理空间距离较近，滇西北（维西）的居群与昭通和宝兴这两个居群的遗传距离较远，而处于遗传多样性中心东侧边缘的湖北五峰也表现出了较远的遗传距离。由表 2 可看出，杂合度的大小关系为宝兴 > 维西 > 五峰。通过种内和居群间在空间上的等位酶变异大小的比较，可推断居群间的历史情况、迁移方向。

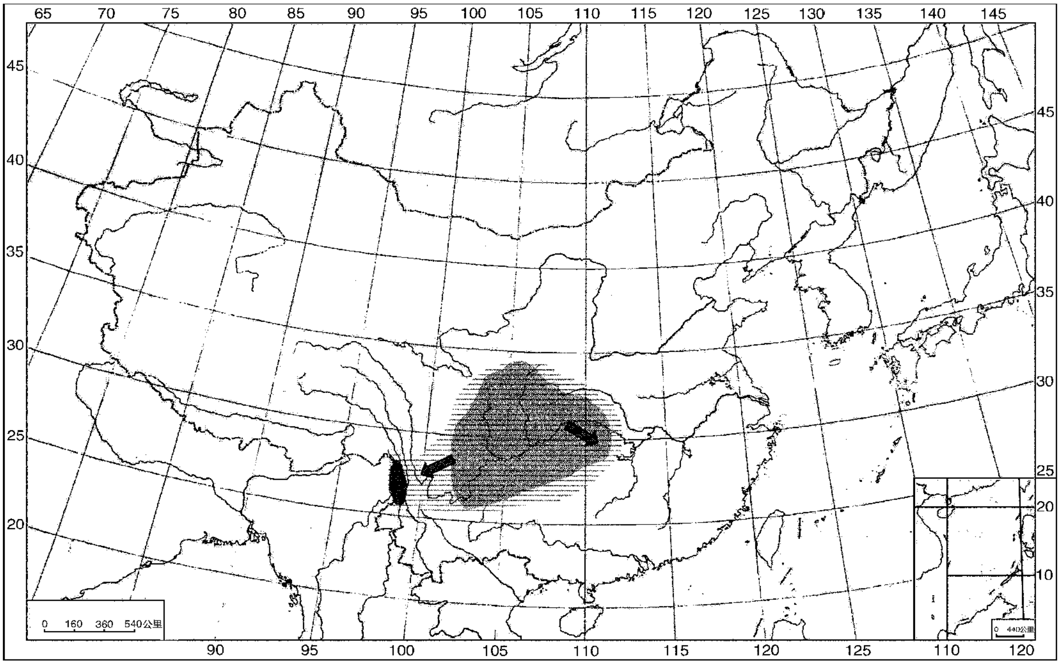

图 2 珙桐的地理分布及可能的迁移方向

Fig. 2 Distribution of *Davidia* and possible dispersal direction

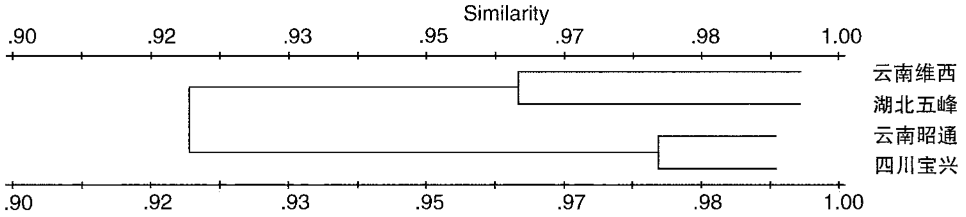

图 3　光叶珙桐居群间的遗传相似聚类分析图

Fig. 3　Cluster analysis of *Davidia involucrata* var. *vimoriniana*

散布出去的居群的遗传结构往往比原来的居群单调，具有较少的等位基因或杂合性（Mur-phy **等，**1900**）。综合分析各个遗传指标，可以看出昭通和宝兴两个居群的杂合度高，遗传多样性高，表明这些地区和邻近区域可能是现代光叶珙桐的遗传多样性保存中心，维西和五峰的遗传多样性则较低，则可以初步推断这些居群是由四川盆地边缘山地的宝兴、昭通及邻近地区分别向西和向东扩散而来（图** 2**）。这些遗传多样性较高的地区即宝兴和昭通（应包括其邻近地区）实际上可能是在地质灾难中如第四纪冰期，光叶珙桐真正的避难所；遗传多样性较低的东西两侧即云南西北部的维西以及湖北的五峰则可能是在冰后期由避难所恢复迁移传播而来的种群。**

致谢　承蒙王仲朗副研究员提供分析软件，龚洵副研究员提供温室保存实验材料。

〔参　考　文　献〕

祖元刚，张文辉，阎秀峰等，1999. **濒危植物裂叶沙参保护生物学研究** [M]. **北京：科学出版社，**147—148

葛颂，1994. **同工酶和植物进化生物学研究** [M]. **植物进化生物学，武汉：武汉大学出版社，**153—159

张清华，1992. **珙桐栽培繁殖技术研究** [M]. **主要珍稀濒危树种繁殖技术，北京：林业出版社，**31—35

Fairbothers DE, Johnson M, 1963. Compative serological studies within the genera: *Cornus Davidia* and *Nyssa* [M]. In: *Meetings of the Botanical Society of America*, Universtity of Massachusetts

Fritsch P, 1996. Isozyme analysis of intercontinental, disjuncts within *Styrax* (Styracaceae): Implications for the Madrean-Tethyan hypothesis [J]. *American Journal of Botany*, **83** (3): 342—355

Gottlieb LD, Higgins RC, 1977. Eletrophoretic evidence and plant systematics [J]. *Ann Missouri Bot Gard*, **64**: 161—180

Hamrick JL, Godt MJ, 1990. Allozyme diversity in plant species [M]. In: Brown AHD, Clegg MT, Kahler AL, *et al*. (eds): *Plant Population Genetics*, *Breedings*, *and Genetic Resources*. Sunderland, Mass: Sinauer: 43—63

Hamrick JL, Godt MJ, Sherman-Broyles SL, 1992. Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant spcies [M]. In Adams WT, Strauss SH, Copes DL and Griffin AR, eds, Population Genetics of Forest Trees, Kluwer Academic, Dordrecht, pp, 95—24

Harmrick JL, Linhart YB, Mitton JB, 1979. Relationships between life history characteristics and electrophoretically detactable genetic variation in plants [J]. *Annual Rev Ecol Syst*, **10**: 173—200

Hu YM (**胡一明**), 1986. Primary studies on the introduction of *Davida* [M]. *Science and Technology Silva Anhui* (**安徽林业科技**), **3**: 5—7

Huang JS (**黄金生**), Jiang L (**姜力**), Gan XH (**甘习华**), *et al*, 1996. Intranuclear inclusions in leaf mesophyll cells of *Davidia involucrata* [J]. *Acta Bot Sin* (**植物学报**), **38** (6): 495—496

Kamelna OP, Shevchnkol SV, 1968. On the embryology of *Davidia involucrata* [J]. *Bot Zh*. (Leningr), **73** (2): 203—213

Kieiman R，Spencer GF，1982. Search for new industrial oils ［J］. *Jamoil Chem Soc*，**59**（1）：29—38

Konrnad B，2001. Evolution and genetic analysis of populations：1950–2000 ［J］. *Taxon*，**50**（1）：7—41

Li HL，1954. *Davidia* as the type of a new family Davidiaceae ［J］. *Lloydia*（*Cincinnati*），**17**（4）：329—351

Li JQ（李建强），Zhang MH（张敏华），Huang HW（黄宏文），*et al*，2000. On the allozymic loci variationof *Davidia involucrata* ［J］. *J Wuhan Bot Res*（武汉植物学研究），**18**（3）：247—249

Li RJ（李汝娟），Chong SY（崇尚燕）. Cytological study on five rare species in China ［J］. *J Wuhan Bot Res*（武汉植物学研究），**7**（3）：217—219

Loveless MD，Hamrick JL，1984. Ecological determinants of genetic structure in plant population ［J］. *Annual Rev Ecol Syst Ins*，**166**：1—25

Markkgraf F，1963. Die phylogenecsche Stellung der *Davidia* ［J］. *Ber Deut Bot Ges*（Sondernum），**76**：63—69

Minoru T，Tadashi H，1997. Fossil endocarp of *Davidia* from the early Pleistocene sediments of the Tokai Group in Gifuprefecture，cenral Japan ［J］. *Bulletin of the Osaka Museum of Natural History*，**51**13—23

Murphy RW，Sites JW，Buth JG，*et al*，1990. Isozyme Electrophoresis. In Hillis D. M. & Moritz C（eds.）Molecular Systematic Part II. *Molecular Techniques*，4. *Proteins* I ［M］. Sinauer Sssociates，Inc. Publishers. Sunderland，Massachusetts，U. S. A，45—126

Murrell，Iack E，1993. Phylogenetic relationships in *Cornus* ［J］. *Syst Bot*，**18**（3）：469—495

Nei M，1973. Analysis of genetic diversity in subdivided populations ［J］. *Proc Natl Acad Sci USA*，**70**（3）：3321—3323

Nei M，1977. *F*-statics and analysis of gene diversity in subdivided populations，*Ann Human Genet*，**41**：225—233

Nei M，1978. Estiamation of average heterozygosity and genetic distance from a number of individuals ［J］. *Genetics*，**89**：583—590

Nevo E，Beiles A，Krugman T，1988. Natural selection of allozyme polymorphisms：a microgeographic differentiation，by edaphic，topographical，and temporal factors in wild emer wheat（Triticium dicoccoides），*Theore and Appl Genet*，**76**737—752

Randall JB，1992. Allozyme variation，genecology，and phytogeography of *Antennaria arcuata*（Asteraceae），a rare species from the great basin and red desert with small disjunct population ［J］. *Am J Bot*，**79**（8）：872—881

Rast D，1968. Hyperosid das Hanpflavonloglykosid Von Davidia involucrata Brailla ［J］. *Planta*，**80**（**2**）：**154—158**

Schurmann P，Villiger W，**1967**. Veranderaxgen des chlorophlgehaltes under Chloroplasten feinstructure in den Hochblattern Von Davidia involucrata Bailla ［J］. *Planta*，**76**（4）：335—347

Soltis DE，Haufler CH，Danow DC，*et al*，1983. Starch gel electrophoresis of ferns：a compilation of grinding buffers，gel and electrode buffers，and staining schedules ［J］. *American Fern Journal*，**73**：9—27

Steven RM，Crane PR，Golovneva，1999. An Extinct Genus with Affinities to Extant Davidia and Camptotheca（Cornales）from the Paleocene of North America and Eastern Asia ［J］. *Int J Plant Sci*，**160**（1）：188—207

Tao JC（陶金川），Zong SX（宗世贤），Yang ZB（杨志斌），1986. The Geography distribution and introduction of *Davidia involucrata* ［J］. *Journal of Zhejiang Forestry College*（浙江林学院院报），**3**（1）：25—33

Wang XP（王献溥），Li TQ（李俊清），Zhang TX（张家勋），1995. Bioecological characteristics and cultivation of the dove tree in China ［J］. *Guihaia*（广西植物），**15**（4）：347—353

Wang ZR（王中仁），1996. Plant allozyme analysis ［M］. Beijing：Science Press

Wu JE，Shong H，Wang JC，*et al*，2001. Allozyme variation and the genetic structure of populations of trochodendron aralioides，A Monotypic and Narrow Geographic Genus ［J］. *J Plant Res*，**114**：45—57

Xiang GQ（向桂群），1989. Study on chemical components of *Davidia involucrate* Ball. native to China ［J］. *Acta Bot Sin*（植物学报），**31**（7）：540—543

Yang YQ（杨业勤），1982. The breeding from seed of *Davidia* ［J］. *Science and Technology Silva Bulletin*（林业科技通讯），**3**：5—7

Ying JS（应俊生），Ma CG（马成功），Zhang ZS（张志松），1979. The vegative and flora of west of Hubei ［J］. *Acta Phytotax Sin*（植物分类学报），**17**（3）：41—60

Zhang QH（张清浩），1981. Cutting propagation of *Davidia* ［J］. *Science and Technology Silva Bulletin*（林业科技通讯），**1**：2—3